

DE L'ARBRE EN VILLE À LA FORÊT URBAINE

Bastien Castagneyrol, Serge Muller et Alain Paquette, coord.



Presses de l'Université du Québec

éditions
Quæ

De l'arbre en ville à la forêt urbaine

Bastien Castagneyrol, Serge Muller,
Alain Paquette, coordinateurs

Éditions Quæ
Presses de l'Université du Québec

Collection Synthèses

*Infrastructure de transport créatives
Mieux les intégrer aux écosystèmes,
paysages et territoires*
S. Bonin, coord.
2024, 252 p.

*Durabilité des systèmes
pour la sécurité alimentaire
Combiner les approches locales
et globales*
A. Thomas, A. Alpha, A. Barczak,
N. Zakhia-Rozis, coord.
2024, 246 p.

*L'antibiorésistance
Un fait social total*
C. Harpet, coord.
2022, 240 p.

*Assimilation de l'azote chez les plantes
Aspects physiologique, biochimique
et moléculaire*
J.-F. Morot-Gaudry, coord.
2022, 422 p.

La fabrique de la ville en transition
M. Fenker, I. Grudet, J. Zetlaoui-Léger,
coord.
2022, 258 p.

Pour citer cet ouvrage :

Castagneyrol B., Muller S., Paquette A. (coord.), 2024. *De l'arbre en ville à la forêt urbaine*. Versailles, éditions Quæ, Presses de l'Université du Québec, 188 p. (coll. Synthèses).

Cet ouvrage a bénéficié du soutien financier de la DipSo, de l'UMR Biogeco
et du département Ecodiv d'INRAE.

Il est diffusé sous licence CC-by-NC-ND 4.0.

Éditions Quæ
RD 10, 78026 Versailles Cedex
www.quae.com – www.quae-open.com

© Éditions Quæ, 2024

Éditions Quæ
ISBN (papier): 978-2-7592-3878-1
ISBN (pdf): 978-2-7592-3879-8
ISBN (ePub): 978-2-7592-3880-4

Presses de l'Université du Québec
ISBN (papier) : 978-2-7605-6022-2
ISBN (pdf) : 978-2-7605-6023-9
ISBN (ePub) : 978-2-7605-6051-2

ISSN: 1777-4624

Sommaire

Introduction. Pourquoi et pour qui ce livre ?	5
<i>Bastien Castagneyrol, Serge Muller, Rita Sousa-Silva, Alain Paquette</i>	
Les arbres urbains, entre bon sens, magie, science et politique	5
Balade bibliométrique autour des arbres urbains.....	9
À qui s'adresse cet ouvrage et comment nous l'avons construit.....	11
Références bibliographiques	12
Chapitre 1. L'arbre urbain et son fonctionnement	15
<i>Kaisa Rissanen, Alain Paquette</i>	
L'arbre urbain vit de lumière, d'eau et d'air, mais pas forcément purs.....	15
L'arbre urbain vit à l'interface entre deux mondes.....	17
L'arbre urbain s'acclimata à son environnement.....	18
L'arbre urbain et le changement climatique.....	21
Références bibliographiques	22
Chapitre 2. L'arbre, un support de « biodiversité »	25
<i>Marine Fernandez, Alain Paquette</i>	
La biodiversité au XXI ^e siècle.....	25
L'arbre, un support de biodiversité au niveau aérien	27
Les interactions souterraines	39
Entre interactions et interconnexions : un vaste réseau trophique	40
La biodiversité au-delà des continents mais au cœur des débats	40
Conclusion	41
Références bibliographiques	42
Chapitre 3. Géohistoire de la forêt urbaine	49
<i>Jean-Louis Yengué</i>	
Les prémices.....	49
Du jardin au parc urbain.....	50
De la cité-jardin aux infrastructures vertes	54
Du développement durable aux continuités écologiques.....	55
Conclusion	56
Références bibliographiques	57
Chapitre 4. La diversité des forêts urbaines	59
<i>Serge Muller</i>	
Qu'est-ce que la forêt urbaine ? Définition, historique et état des lieux	59
Une évaluation globale de la forêt urbaine	60
Les composantes de la forêt urbaine.....	64
Des forêts étagées ou verticales ?	75
Dynamique et organisation de la biodiversité de la forêt urbaine en une trame verte.....	76
Conclusion : quelles forêts urbaines pour les villes de demain ?	80
Références bibliographiques	82

Chapitre 5. Un air de ville, grâce aux arbres et à la forêt urbaine	87
<i>Marc Saudreau, Raïa-Silvia Massad</i>	
L'air de nos villes <i>versus</i> l'air de nos campagnes, et l'apport du végétal.....	87
Les principaux mécanismes.....	89
Diminuer les îlots de chaleur urbain.....	95
Les arbres en ville, source de COVB.....	101
Les arbres en ville, puits de polluants	104
Les arbres en ville, atout ou dommage pour la qualité de l'air?.....	105
Conclusion	106
Références bibliographiques	107
Chapitre 6. Forêt urbaine et santé des citoyens	113
<i>Rita Sousa-Silva, Alain Paquette</i>	
Services et desservices des arbres urbains : une mise au point	113
Les inconvénients associés aux arbres.....	120
Comment maximiser les bienfaits des arbres sur la santé?.....	122
Conclusion	123
Références bibliographiques	123
Chapitre 7. La santé des arbres urbains : menaces et prévention ?	129
<i>Sivajanani Sivarajah, Bastien Castagneyrol</i>	
À quoi reconnaît-on un arbre en mauvaise santé?	130
Un environnement urbain qui fragilise les arbres	130
Les activités humaines, directement responsables des dégâts aux arbres.....	132
Les innovations techniques, facteur de stress abiotiques	135
Des conditions favorables aux bioagresseurs des arbres urbains	137
La diversité des arbres en ville, une assurance vis-à-vis des risques biotiques et abiotiques?.....	142
Conclusion	143
Références bibliographiques	144
Chapitre 8. Les arbres et la forêt urbaine, objets politiques	153
<i>Baptiste Hautdidier</i>	
Les relations entre couvert arboré et pensées de la croissance urbaine.....	156
Les réalités de la gentrification verte	159
Des esthétiques inégalement partagées	163
Favoriser l'arbre en ville, une politique en concurrence avec d'autres.....	166
Ces marginalités que la végétation permet de cacher	167
Le sort des arbres interpelle toujours les populations citadines.....	168
Changements de regards, esthétiques alternatives.....	171
Références bibliographiques	173
Conclusion. Quelle forêt urbaine pour les villes de demain ?	177
<i>Alain Paquette, Serge Muller, Bastien Castagneyrol</i>	
Davantage d'arbres.....	178
Aux bons endroits.....	179
Plus diversifiée.....	181
Mieux adaptée.....	182
Mieux documentée	183
Références bibliographiques	185
Liste des auteurs	187

Introduction

Pourquoi et pour qui ce livre ?

BASTIEN CASTAGNEYROL, SERGE MULLER,
RITA SOUSA-SILVA, ALAIN PAQUETTE

Les villes se verdissent, et pour beaucoup le vert c'est les arbres. Paris annonce 170 000 plantations d'arbres entre 2020 et 2026 au travers de son Plan arbre¹. À Bordeaux, l'objectif est fixé à un million d'arbres pour l'ensemble de la métropole². Idem à Los Angeles (Pincetl, 2010) et New York³, où l'objectif a d'ailleurs été atteint (Campbell, 2014). À Pékin, ce sont 50 millions d'arbres qui ont été plantés en l'espace de quatre ans (Yao *et al.*, 2019). La ville de Québec vise quant à elle 130 000 arbres plantés d'ici 2029⁴, et Montréal aspire au demi-million à la même échéance. On pourrait multiplier les exemples (Sousa-Silva *et al.*, 2023; FAO, 2018). Ces programmes sont ambitieux, souhaitables, et réalisables si la volonté politique est au rendez-vous (Muller, 2018; 2020). Signe de la prise de conscience de l'importance que jouent les arbres dans nos villes, les « fêtes de l'arbre » se multiplient (figure I.1).

► Les arbres urbains, entre bon sens, magie, science et politique

Les grands programmes en faveur des arbres urbains mettent en avant les services qu'ils rendent et s'appuient sur la concertation et la collaboration entre les élus, les services de gestion et les citoyens — à titre personnel ou fédérés en associations. L'échantillon d'affiches assemblées sur la figure I.1 a été pris au hasard parmi les résultats d'une requête faite sur Google en mai 2023, sans prétention de représentativité ou d'exhaustivité. Toujours est-il que l'iconographie et les mots-clés associés sont instructifs et illustrent bien le propos de cette introduction. Pour toutes ces villes, il s'agit de s'amuser, d'agir pour les arbres et la nature au travers d'ateliers, de se rencontrer, d'échanger autour de créations artistiques, et de transmettre des savoirs au travers de conférences ou d'actions auprès des écoles. L'arbre en ville apparaît d'emblée comme un objet utile, vecteur de lien social et levier pour des politiques environnementales et culturelles.

1. <https://www.paris.fr/pages/1-arbre-a-paris-199>

2. <https://www.bordeaux-metropole.fr/metropole/projets-en-cours/nature/plantons-1-million-darbres>

3. <https://www.milliontreesnyc.org/>

4. <https://www.ledevoir.com/societe/774944/quebec-lance-un-appel-aux-arbres>



Figure I.1. Les « fêtes de l'arbre » se multiplient dans les municipalités françaises. Dans l'ordre de lecture, Meudon, Bordeaux, Poitiers, Carpentras, Aulnay-Sous-Bois, Sens et Carcassonne.

Planter des arbres, une panacée ?

Les arbres dans les villes offrent bien plus que de simples décorations pour notre environnement. Ils sont une composante essentielle des systèmes urbains et peuvent fournir des biens matériels, mais aussi des bienfaits immatériels. Les arbres des villes ont ainsi une dimension utilitariste qui était reconnue bien avant que les services écosystémiques ne soient conceptualisés (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Les services écosystémiques peuvent être définis comme les multiples avantages que les êtres humains retirent de l'environnement naturel et du bon fonctionnement des écosystèmes, tels que la régulation du climat, la purification de l'air et de l'eau, la régulation des inondations, la production de nourriture et d'autres biens, ainsi que des avantages culturels et récréatifs (de Groot *et al.*, 2002; Fisher *et al.*, 2009). Les arbres urbains contribuent à fournir ces services en tant qu'éléments clés de l'écosystème urbain, notamment en aidant à réguler la température, en réduisant la pollution de l'air, en atténuant l'effet d'îlot de chaleur, et en offrant des espaces de loisirs et de détente pour les citoyens (Gómez-Baggethun et Barton, 2013; Roy *et al.*, 2012).

Si les arbres urbains sont si vertueux, alors, de manière évidente, planter c'est bien. Ainsi, les municipalités mettant en avant de grands programmes en faveur des arbres se donnent, en presque totalité, des objectifs de plantation en nombre d'arbres plantés. Mais un arbrisseau ne tient pas la comparaison avec un arbre centenaire, que ce soit par son ombre ou en tant que support de biodiversité. D'autres programmes, plus rares, raisonnent la plantation d'arbres par l'augmentation du volume occupé par l'ensemble des houppiers des arbres (la canopée), ce que l'on mesure par l'« indice de canopée » qui représente, en vue aérienne ou satellitaire, le pourcentage d'occupation du sol attribuable à la canopée des arbres. On voit apparaître là une tension dans la manière de quantifier les arbres urbains et, par extension, les services qu'ils peuvent fournir aux citoyens : le nombre d'arbres ou la surface arborée ? De plus, alors que les services écosystémiques sont souvent évoqués, rares sont les programmes qui se donnent un objectif chiffré directement mesurable en matière de services, par exemple diminuer de 1 °C la température ambiante de tel quartier, ou de 1 % l'incidence des maladies cardiovasculaires. En l'absence d'objectifs clairs et mesurables, la probabilité de rater les cibles est malheureusement élevée (Sousa-Silva *et al.*, 2021).

La quantification des services écosystémiques fournis par les arbres urbains est une gageure, d'autant plus qu'il y a un revers à la médaille à ne pas occulter : les arbres urbains peuvent également être source de « desservices » écosystémiques. Ce terme, qui était d'usage bien établi en français avant de passer de mode au XIX^e siècle, ne demande qu'à être remis au goût du jour en tant que traduction directe de l'anglais *disservice*. Par opposition aux services écosystémiques, il décrit les risques et les nuisances liés aux écosystèmes et perçus comme négatifs pour le bien-être humain (Saunders, 2020). Des exemples classiques sont la production de pollens allergènes, qui peuvent entraîner des problèmes de santé chez les personnes allergiques ou atteintes de maladies respiratoires, la chute de feuilles ou de fruits, qui peuvent rendre les trottoirs glissants ou boucher les canalisations, la chute de branches ou d'arbres sur les habitations, les véhicules ou les personnes, mais également l'action mécanique des racines, susceptibles d'endommager les infrastructures routières ou les fondations d'immeubles.

Les desservices liés aux arbres urbains sont d'autant plus visibles que les arbres grandissent et vieillissent. Un vieil arbre produit plus de feuilles et plus de fruits qu'un arbrisseau récemment planté; il développe en outre un système racinaire plus étendu et plus large, et ses branches offrent plus de prise au vent, augmentant le risque de brisure et de chute en cas de tempête. Un arbre vieillissant, s'il présente une menace possible ou avérée, doit être abattu. L'abattage des arbres peut être une source de conflits. La plantation de nouveaux arbres en ville est en effet une tendance forte qui ne doit pas faire oublier l'attachement des populations aux arbres déjà là, déjà grands, déjà pourvoyeurs d'ombre et supports de biodiversité. Ainsi, une autre mobilisation de plus en plus forte des citoyens en faveur des arbres des villes correspond à la défense des arbres sains (non malades) menacés d'abattage par des projets d'urbanisme et d'aménagement peu soucieux de leur existence, de leur qualité esthétique et de leur intérêt écologique. Par exemple, Thomas Brail, arboriste-grimpeur, s'est installé dans la canopée d'un platane à Paris, devant le ministère de la Transition écologique, et l'a occupée pendant vingt-huit jours afin d'empêcher l'abattage d'arbres sans justification acceptable (Brail, 2022). Ces actions à fort relais médiatique ont conduit en juillet 2020 à la création d'une association, le Groupe national de surveillance des arbres (GNSA), qui compte déjà plus de 70 groupes locaux en France mobilisés pour la défense des arbres menacés dans les villes.

L'arbre en ville cache la complexité de la forêt urbaine

Une analyse trop rapide, partielle et sans doute partielle du discours sur les arbres en ville, fait donc émerger un mélange doux-amer de science, de bon sens et de magie. Il ne s'agit évidemment pas ici de remettre en question les choix en matière de communication de telle ou telle ville, mais d'illustrer la complexité des acteurs et des enjeux qui mettent l'arbre urbain sous tension. L'engouement récent autour des « microforêts de Miyawaki » en est une illustration emblématique. Ces microforêts, dont l'emprise au sol est habituellement de quelques centaines de mètres carrés, se caractérisent par un schéma de plantation d'arbres à forte densité. Pour leurs promoteurs, elles ont une croissance exceptionnelle permettant, sans efforts ni intrants, de restaurer la biodiversité d'une forêt primaire et de stocker une grande quantité de dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique. À n'en pas douter, remplacer quelques cases de stationnement par une microforêt ne peut qu'accroître localement la biodiversité et l'ombre apportée par les arbres qui auront grandi et survécu, et rafraîchira le trottoir et les façades des maisons alentour. C'est du bon sens. Si l'on ne se fonde que sur le nombre d'arbres plantés comme seul indicateur, alors cette stratégie est payante : les objectifs sont atteints. Mais si au contraire l'on considère l'indice de canopée ou la réduction de la température comme indicateurs de l'efficacité des plantations d'arbres, alors l'intérêt des microforêts doit être évalué. Enfin, lorsqu'elles sont mises en place de manière participative en mobilisant les particuliers, les écoliers ou les associations impliquées dans des activités de réinsertion, ces plantations permettent de créer du lien social dans les quartiers et de contribuer à la (re)connexion des citoyens à la nature. L'approche est intéressante, mais, lorsque des voix s'élèvent pour simplement interroger la validité scientifique de certaines assertions des promoteurs de la méthode (Castagneyrol *et al.*, 2021), le débat s'agite (Muller, 2021 ; Ducouso *et al.*, 2021). Ce débat est légitime et généralisable à l'ensemble de la forêt urbaine, micro ou pas. Les tenants et les aboutissants méritent d'être analysés et portés à la connaissance du plus grand nombre.

Il convient alors de proposer quelques définitions. Dans son *Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité*, François Ramade définissait un arbre comme « un végétal ligneux d'au moins 7 mètres de hauteur à l'état adulte qui comporte un tronc vertical sur lequel s'insèrent des branches ramifiées portant le feuillage dont l'ensemble forme la couronne ou encore houppier » (Ramade, 2008). Plusieurs arbres, ensemble, peuvent faire une forêt, soit « un ensemble d'écosystèmes qui se définissent par une couverture végétale dominante constituée par des arbres dont la frondaison est continue en l'absence d'intervention humaine ». Au sens de l'Inventaire forestier (IGN France), une forêt est « un territoire occupant une superficie d'au moins 50 ares avec des arbres capables d'atteindre une hauteur supérieure à 5 mètres à maturité *in situ*, un couvert arboré de plus de 10 % et une largeur moyenne d'au moins 20 mètres » (IGN, 2023). Une forêt n'est donc pas qu'un ensemble d'arbres, c'est un écosystème, ce qui implique des flux de matière et d'énergie entre les compartiments biotiques et abiotiques, et au sein des compartiments biotiques. La forêt urbaine échappe en apparence à cette définition. Elle a donc sa spécificité. La forêt urbaine a été définie par la FAO comme « un réseau ou un système incluant toutes les surfaces boisées, les groupes d'arbres et les arbres individuels se trouvant en zone urbaine et périurbaine, y compris, donc, les forêts, les arbres des rues, les arbres des parcs et des jardins, et les arbres d'endroits abandonnés » (Salbitano *et al.*, 2017). On considère donc aujourd'hui que la forêt urbaine intègre l'ensemble des arbres de la ville, qu'ils soient sur les terrains publics ou privés. La forêt urbaine constitue ainsi une mosaïque d'espaces diversement et plus ou moins densément arborés. Cette approche synthétique permet de prendre en compte toutes les composantes arborées en une même démarche d'ensemble.

L'arbre et la forêt urbaine sont des symboles de nature. L'arbre est peut-être le principal représentant de la nature en ville, ou du moins le représentant le plus visible, et pour beaucoup le plus désirable. Mais ne nous y trompons pas, il s'agit d'une nature maîtrisée, pilotée, instrumentalisée, dont le périmètre déborde les magistères des biologistes, des écologues, des géographes, des sociologues et des politistes. L'arbre en ville, son histoire et ses fonctions ne peuvent être compris que s'ils sont éclairés par ces différentes disciplines. C'est le parti que nous avons pris dans ce livre : croiser les savoirs actuels de différentes disciplines scientifiques.

► Balade bibliométrique autour des arbres urbains

Pour illustrer l'intérêt scientifique porté à l'arbre en ville et à la forêt urbaine, nous avons effectué une requête dans la base de données Web of Science avec les mot-clés {"urban trees" OR "urban forest"} (7 mai 2023). La requête a renvoyé 4358 articles publiés depuis 1969.

Dans leur majorité, ces articles s'inscrivent dans les champs de l'écologie et des sciences environnementales, de la foresterie, des « études urbaines », de la botanique, de la biologie et physiologie végétale, que l'usage anglophone rassemble sous le terme de « *plant science* » (figure I.2). Ce sont donc majoritairement les sciences et techniques qui sont représentées, avec les exceptions notables des études urbaines, de la géographie, et des études en lien avec l'administration publique.

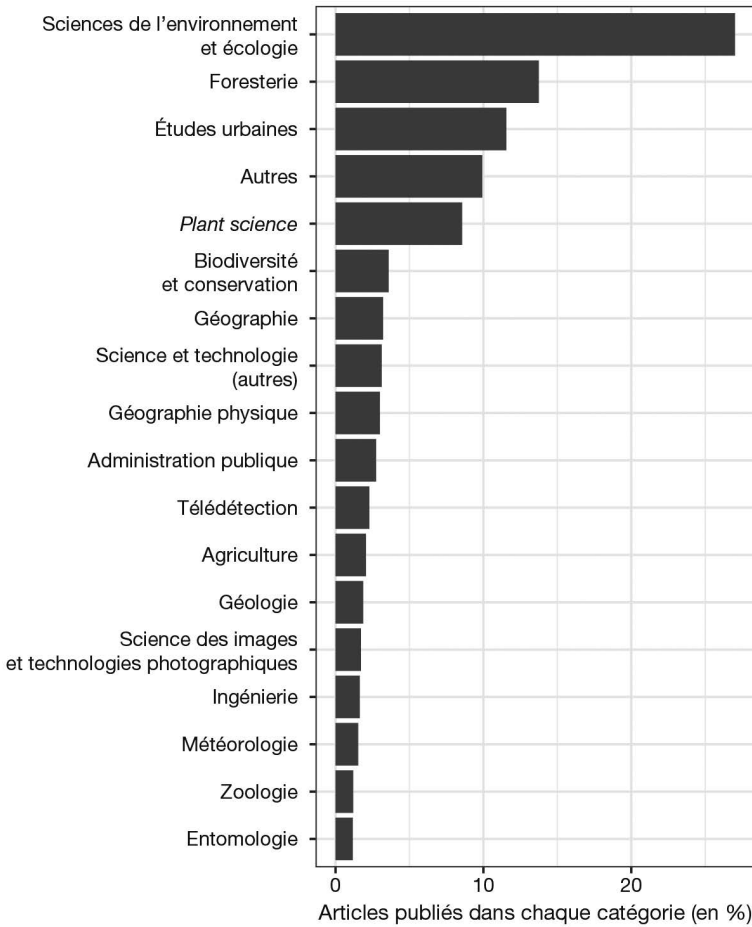


Figure I.2. Champs disciplinaires concernés par les articles indexés par les mots-clés {"urban trees" OR "urban forest"}.

Les articles traitant des arbres en ville et de la forêt urbaine sont publiés dans des revues scientifiques spécialisées en écologie urbaine (*Urban Forestry and Urban Greening, Landscape and Urban Planning, Urban Ecosystems*), autant que dans des revues traitant plus généralement de la forêt (*Forests, Journal of Forestry, Forest Ecology and Management*) ou des revues généralistes en écologie et en sciences de l'environnement (*Science of the Total Environment, Sustainability, Ecological Indicators*). Cette comparaison indique que, loin d'être une thématique de niche, l'écologie des arbres et de la forêt urbaine est reconnue comme un sujet d'intérêt pour l'ensemble de la communauté des écologues et des spécialistes de l'environnement. Bien qu'elles soient moins représentées dans ce corpus, Farkas *et al.* (2023) ont montré dans une étude bibliométrique plus approfondie qu'au cours des trente dernières années, les thématiques sociales avaient gagné de l'importance. Une interprétation possible de cette chronologie est que les connaissances scientifiques en écologie urbaine sont suffisamment développées et robustes pour alimenter les politiques publiques et les réflexions citoyennes.

» À qui s'adresse cet ouvrage et comment nous l'avons construit

Les arbres nous sont familiers, et c'est toute leur tragédie. Parce qu'ils sont là, en apparence immuables, nous pensons les connaître. Et pourtant... en préparant ce livre, nous, autrices et auteurs, avons beaucoup appris de la lecture des chapitres écrits par nos collègues. Nous proposons à nos lectrices et lecteurs une synthèse la plus à jour possible des connaissances scientifiques sur les différentes manières d'aborder les arbres urbains et leur prolongement naturel, la forêt urbaine.

Nous ne prétendons toutefois pas à l'exhaustivité. D'ailleurs, la recherche est tellement active autour de ces objets qu'une synthèse prétendument exhaustive serait rapidement dépassée. Il s'agit d'un ouvrage scientifique, pluridisciplinaire, à destination d'un public averti et curieux de prendre du recul pour embrasser l'arbre en ville avec une vue d'ensemble.

Ce livre ne s'adresse donc pas à un public de spécialistes ; ceux-là pourront se tourner vers les références bibliographiques citées. Ce n'est pas non plus un manuel technique qu'urbanistes, gestionnaires ou particuliers pourraient consulter pour les accompagner dans leurs choix d'aménagements ou d'interventions sur les arbres urbains. Que vous soyez écologue, géographe, sociologue, déjà aguerri ou encore aux études, vous trouverez dans les chapitres qui suivent les éléments profitables pour développer ou asseoir vos connaissances et pour appréhender la complexité des interactions biologiques et sociales qui se nouent autour des arbres urbains. L'ouvrage s'ouvre sur de nécessaires notions fondamentales en écologie, rappelant ce qu'est un arbre, et à plus forte raison un arbre urbain, et la manière dont il façonne la ville autant qu'il est façonné par elle (chapitres 1 et 2). Il se prolonge par un voyage dans le temps et l'espace — géographique — informant les lecteurs sur le fait que la diversité des arbres urbains d'aujourd'hui et la diversité des situations dans lesquelles on les trouve ont été pilotées par les activités humaines à des fins utilitaristes, ou résultent au contraire de l'abandon de certains terrains laissés en friche (chapitres 3 et 4). S'ensuivent tout naturellement deux chapitres explicitant les fonctions des arbres et de la forêt urbaine que les responsables des aménagements cherchent à favoriser (chapitres 5 et 6). Évidemment, ces fonctions ne peuvent être remplies que si les arbres et la forêt urbaine sont en bonne santé ; un chapitre y est dédié (chapitre 7). L'ouvrage se ferme sur un chapitre intégrant l'ensemble des considérations précédentes dans une perspective sociale et politique (chapitre 8), avant de se conclure sur une tentative de réponse à la question — vous l'aurez compris, éminemment complexe — « Quels arbres pour quelles villes, demain ? ».

Proposer un ouvrage de synthèse intégrant les connaissances en écologie, en géographie et en sociologie n'a pas été une mince affaire. Bien que nous ayons convoqué des concepts et des sources s'attachant aux mêmes objets — les arbres et la forêt urbaine —, force a été de constater que les pratiques et les habitudes diffèrent d'une discipline à l'autre. Il en résulte une certaine hétérogénéité dans le style des différents chapitres. Nous aurions pu chercher à la gommer, à lisser le phrasé, pour proposer un tout débarrassé de ces héritages disciplinaires. Cela aurait été contraire à l'idée principale qui se dégage de l'ouvrage (*spoiler alert**) : l'hétérogénéité est un héritage, une force, et une assurance dans un monde en mouvement ; elle est souhaitable. Nous l'avons conservée.

* La langue évolue, surtout quand elle voyage avec les gens qui la parlent. La langue façonne aussi les concepts. Certains sont intraduisibles sans recourir à de longues périphrases plus ou moins alambiquées. Nous voulions un ouvrage en français, à destination

de lectrices et de lecteurs francophones, parce que l'accès à la science ne devrait pas se heurter à la barrière de la langue. De l'anglais traîne encore ça et là pour permettre aux personnes intéressées par l'approfondissement d'un concept de se référer à la littérature spécialisée. Proposer un ouvrage pour un public francophone aura été un beau défi, parce que le français n'était pas la langue maternelle de toutes les personnes ayant contribué à cet ouvrage. Et puis le français varie dans la francophonie, surtout quand il s'agit, par exemple, de parquer son char sur une place de parking. Nous espérons que ces clins d'œil rendront la lecture du présent ouvrage ludique.

► Références bibliographiques

- Brail T. (avec Besson F.), 2022. *L'homme qui savait les arbres. Dans nos villes et villages : arrêtons le massacre!*, Flammarion, Paris, 157 p.
- Campbell L.K., 2014. Constructing New York City's urban forest: The politics and governance of the MillionTreesNYC campaign. In: *Urban Forests, Trees, and Greenspace*, Routledge.
- Castagneyrol B., Porté A., Plomion C., 2021. Méthode Miyawaki : pourquoi les « microforêts » ne sont pas vraiment des forêts. *The Conversation*, 24 février 2021. <http://theconversation.com/methode-miyawaki-pourquoi-les-microforets-ne-sont-pas-vraiment-des-forets-155091>
- de Groot R.S., Wilson M.A., Boumans R.M.J., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41 (3), 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- Ducouso A., Jactel H., Muller S., 2021. Forêts Miyawaki : comment bien adapter la méthode japonaise au contexte français? *The Conversation*, 14 juillet 2021. <http://theconversation.com/forets-miyawaki-comment-bien-adapter-la-methode-japonaise-au-contexte-francais-164331>
- FAO, 2018. *Forests and Sustainable Cities: Inspiring Stories from around the World*, FAO, Rome, Italie. <https://www.fao.org/documents/card/fr/c/I8838EN/>
- Farkas J.Z., Hoyk E., Batista de Morais M., Csomos G., 2023. A systematic review of urban green space research over the last 30 years: A bibliometric analysis. *Heliyon*, 9 (2), e13406. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13406>
- Fisher B., Turner R.K., Morling P., 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68 (3), 643-653. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014>
- Gómez-Baggethun E., Barton D.N., 2013. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235-245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>
- IGN, 2023. *Inventaire forestier national. Mémento, édition 2023*, Institut national de l'information géographique et forestière. https://inventaire-forestier.ign.fr/IMG/pdf/memento_2023.pdf
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*, a report of the Millennium Ecosystem Assessment, Island Press.
- Muller S., 2018. Les « forêts urbaines », essentielles aux villes de demain. *The Conversation*, 18 avril 2018. <https://theconversation.com/les-forets-urbaines-essentielles-aux-villes-de-demain-94335>
- Muller S., 2020. Fact check : planter 170 000 arbres à Paris en 6 ans, est-ce faisable? *The Conversation*, 4 mars 2020. <http://theconversation.com/fact-check-planter-170-000-arbres-a-paris-en-6-ans-est-ce-faisable-132916>
- Muller S., 2021. Microforêts urbaines : que penser de la « méthode Miyawaki »? *The Conversation*, 16 mars 2021. <https://theconversation.com/microforets-urbaines-que-penser-de-la-methode-miyawaki-156822>
- Pincetl S., 2010. Implementing municipal tree planting: Los Angeles million-tree initiative. *Environmental Management*, 45 (2), 227-38. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9412-7>
- Ramade F., 2008. *Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité*, Dunod.
- Roy S., Byrne J., Pickering C., 2012. A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry and Urban Greening*, 11, 351-363.

- Salbitano F., Borelli S., Conigliaro M., Chen Y., 2016. Guidelines on urban and peri-urban forestry. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i6210e/i6210e.pdf>
- Saunders M.E., 2020. Conceptual ambiguity hinders measurement and management of ecosystem disservices. *Journal of Applied Ecology*, 57 (9), 1840-1846. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13665>
- Sousa-Silva R., Cameron E., Paquette A., 2021. Prioritizing street tree planting locations to increase benefits for all citizens: Experience from Joliette, Canada. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2021.716611>
- Sousa-Silva R., Duflos M., Ordóñez Barona C., Paquette A., 2023. Keys to better planning and integrating urban tree planting initiatives. *Landscape and Urban Planning*, 231, 104649. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104649>
- Yao N., Konijnendijk van den Bosch C.C., Yang J., Devisscher T., Wirtz Z. *et al.*, 2019. Beijing's 50 million new urban trees: Strategic governance for large-scale urban afforestation. *Urban Forestry and Urban Greening*, 44, 126392. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126392>

Chapitre 1

L'arbre urbain et son fonctionnement

KAISA RISSANEN, ALAIN PAQUETTE

Un arbre est un arbre, qu'il pousse dans une forêt ancienne, une forêt de plantation, une haie, un parc urbain ou sur un carrefour giratoire. Pourtant, tous les arbres ne se ressemblent pas : un chêne sessile n'a, par exemple, pas le même port selon qu'il pousse seul ou entouré de voisins. Ce chapitre s'attache à présenter les formes et les fonctions des arbres pour montrer comment celles-ci façonnent l'environnement urbain autant qu'elles sont modelées par lui.

► L'arbre urbain vit de lumière, d'eau et d'air, mais pas forcément purs

L'arbre est autotrophe, autrement dit, un organisme qui crée sa matière et son énergie depuis le Soleil d'une façon autonome. Comme les autres plantes, les arbres produisent l'énergie par la photosynthèse : en combinant l'énergie solaire, l'eau et le dioxyde de carbone (CO_2) pour construire des glucides. La photosynthèse se produit dans les parties vertes de l'arbre, surtout dans les feuilles. Les photons provenant du Soleil franchissent les membranes des chloroplastes et lancent une réaction en chaîne qui mène à la réduction du CO_2 par l'eau. Il en résulte une libération de l'oxygène et une production de glucides. Ces glucides sont ensuite utilisés comme source d'énergie et matériaux de construction dans l'arbre entier.

Le CO_2 nécessaire à la photosynthèse diffuse de l'atmosphère aux feuilles et aux cellules photosynthétiques par les stomates. Ce sont des pores à la surface des feuilles dont l'ouverture est régulée en fonction de l'état de la feuille et de l'environnement. Comparée au CO_2 , l'eau prend une route plus longue. Dans le processus de transpiration, l'eau est absorbée du sol par les racines, puis transportée vers les feuilles par le xylème (le système de plomberie qui forme une partie importante du bois), et finalement évaporée vers l'atmosphère (figure 1.1). Son chemin suit, à travers les tissus de l'arbre, un gradient décroissant du potentiel hydrique, allant du sol jusqu'à l'atmosphère. Par conséquent, même si une partie de l'eau prise du sol est utilisée dans la photosynthèse et dans d'autres processus biochimiques de l'arbre, la plupart (~ 95 %) de l'eau est perdue en un processus d'évaporation vers l'atmosphère qui transite par les stomates (Kozlowski et Pallardy, 1997). L'équilibre entre le besoin d'acquérir du CO_2 et la nécessité de limiter la perte d'eau par la transpiration est régulé par le degré d'ouverture des stomates qui conditionne la conductance stomatique.

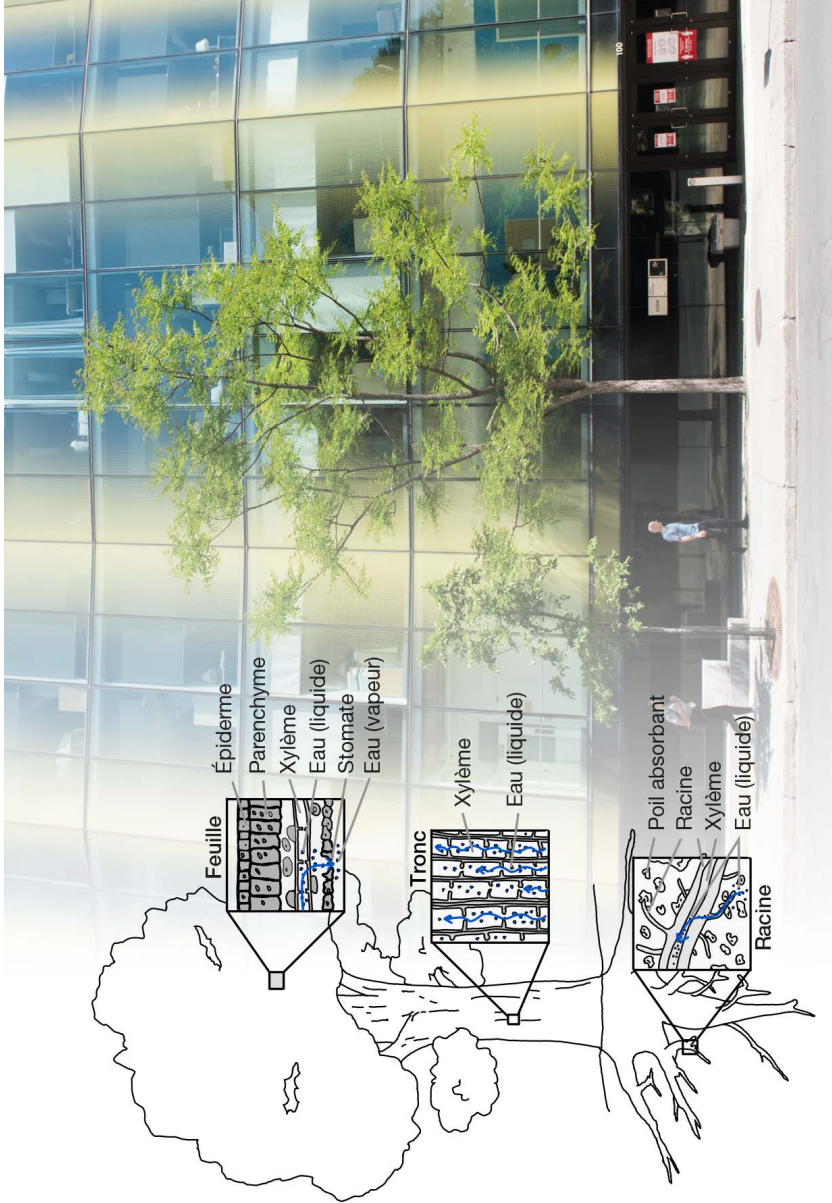


Figure 1.1. Le trajet de l'eau le long du continuum sol-plante-atmosphère emprunte les cellules du xylème qui sont en continuité depuis les racines jusqu'aux plantes. La différence de potentiel hydrique entre le sol et l'atmosphère met la sève sous tension dans le xylème et permet son ascension depuis les racines, où elle est absorbée sous forme liquide jusqu'aux feuilles, puis libérée sous forme de gaz (vapeur d'eau).

Comme chez tous les organismes vivants, chez l'arbre, l'eau n'est pas seulement une nécessité pour la photosynthèse, mais aussi la solution de la vie — la biochimie dans les cellules se passe dans une solution aqueuse. De plus, la rigidité des cellules vivantes et leur capacité à s'élargir et se multiplier dépendent de leur turgescence (la pression d'eau dans les cellules). Le transport des glucides à partir des feuilles vers d'autres cellules de l'arbre se passe aussi dans une solution aqueuse du phloème (le tissu vivant conduisant la sève élaborée), dont la vitesse est fonction de la vitesse de transport de l'eau dans le xylème. Finalement, les nutriments nécessaires pour la vie de l'arbre entrent dans le système racinaire majoritairement avec l'eau prise du sol.

En plus de la lumière, du CO₂ et de l'eau, les nutriments sont un besoin fondamental de l'arbre. Les plus importants, les « macronutriments », sont d'abord l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) (Mengel *et al.*, 2001). L'azote est une « brique » des acides aminés, des protéines et des acides nucléiques (ADN et ARN), indispensables à la vie. Le phosphore est un composant des acides nucléiques et des enzymes jouant un rôle dans le captage, le stockage et le transport d'énergie dans les cellules. Le potassium est nécessaire pour le fonctionnement des enzymes et de la photosynthèse ainsi que pour la régulation de l'ouverture des stomates. Les autres macronutriments importants sont le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S). Les micronutriments comme le fer (Fe) ou le zinc (Zn) sont aussi essentiels pour la survie de l'arbre, mais dans des quantités plus faibles. Le manque de nutriments (macro- et micro-) peut entraîner des dysfonctionnements variés dans les processus de l'arbre, qui peuvent eux-mêmes causer des symptômes visibles, comme des feuilles décolorées et un ralentissement de la croissance.

► L'arbre urbain vit à l'interface entre deux mondes

Comme le rayonnement solaire est la source d'énergie indispensable pour la photosynthèse, il est important que les feuilles en reçoivent assez. L'arbre possède des adaptations qui soutiennent les feuilles au-dessus de la végétation concurrente pour l'accès à la lumière : le tronc et les branches. C'est le bois (une spécialisation des tissus du xylème, désigné à l'occasion de secondaire) qui permet tout cela. Cette innovation majeure dans l'évolution des plantes a tout changé : elle est à l'origine des forêts qui dominent aujourd'hui une grande partie des terres émergées de la planète. Les branches soutiennent les feuilles, qui sont renouvelées soit complètement chaque année (espèces caducifoliées, ou décidues), soit partiellement (à feuillage persistant, ou sempervirent). Dans le processus de croissance primaire, l'arbre pousse en hauteur et les bouts des branches s'allongent, offrant plus d'espace pour de nouvelles feuilles.

Pour supporter le poids et l'équilibre du houppier grandissant, ainsi que ses besoins en eau, les branches et le tronc s'accroissent aussi en largeur (croissance secondaire). La croissance en largeur prend place dans le cambium, une couche mince de cellules entre le xylème et le phloème. Durant la saison de croissance, le cambium forme à la fois plus de xylème vers l'intérieur pour transporter l'eau vers les feuilles plus efficacement, et du nouveau phloème vers l'extérieur (juste sous l'écorce) pour supporter le transport des glucides vers les parties en croissance, comme les racines. Le taux de croissance ralentit au cours de la saison de végétation, ce qui se traduit par une variation annuelle de la taille des cellules du xylème et du phloème, formant des cernes concentriques. La taille des cernes enregistre ainsi non seulement le temps qui passe

et qui permet de connaître l'âge de l'arbre (dendrochronologie), mais également les conditions environnementales auxquelles l'arbre était soumis l'année où les cernes ont été produites (dendroécologie).

L'écorce qui entoure et protège le tronc et les branches de l'arbre s'accroît par l'action d'une autre couche mince de cellules appelée « assise subéro-phellodermique ». Ensemble, cambium et assise subéro-phellodermique agissent aussi pour cicatriser des blessures dans le cas de dommages sur le tronc.

Mais jusqu'ici on a parlé surtout de la partie visible de l'arbre. Dans le sol, la biomasse racinaire représente en moyenne le quart de la biomasse aérienne d'un arbre (Cairns *et al.*, 1997). Le système racinaire de l'arbre consiste en des racines fines qui explorent la matrice du sol en cherchant et en absorbant de l'eau et des nutriments, et en des racines ligneuses qui transportent l'eau et les nutriments des racines fines vers le tronc. Les racines ligneuses ont aussi la tâche importante d'ancrer l'arbre au sol et de le maintenir debout, même en présence de vents violents. Comme la partie aérienne de l'arbre, les racines poussent et se renouvellent durant la saison de croissance. Les racines ligneuses s'accroissent en longueur et en largeur comme les branches et le tronc. Les racines fines s'allongent et se ramifient pour rechercher de l'eau, mais elles ont une durée de vie courte, semblable à celle des feuilles décidues. Ce renouvellement rapide des racines fines dirige les explorations vers les endroits avec des teneurs importantes en eau et autres ressources. De plus, c'est un mécanisme qui introduit du carbone directement dans le sol, ce qui peut être important dans le contexte de la séquestration du carbone dans les villes.

L'arbre étant perpétuellement en croissance, l'espace aérien et souterrain disponible peut être considéré comme une ressource fondamentale, comme l'eau et les nutriments. D'un côté, un espace suffisant pour l'accroissement du tronc, du houppier et du système racinaire soutient le fonctionnement de l'arbre, sa capacité à trouver les ressources nécessaires et à produire les services écosystémiques dont nous dépendons (voir chapitre 6). D'un autre côté, même s'il s'agit d'un processus lent, la pousse de l'arbre peut au fil du temps causer des conflits avec les infrastructures de la ville. Par exemple, les fils électriques aériens, les clôtures ou la tuyauterie en sous-sol peuvent être en contact avec l'arbre, ce qui peut causer des risques aussi bien pour l'arbre que pour le fonctionnement et la sécurité des infrastructures (Lyytimäki, 2017).

L'arbre urbain est intégré dans le tissu minéral et vivant de la ville. Du fait de sa stature, de sa croissance et de sa physiologie; c'est un élément structurant du microclimat de la ville (voir chapitre 5) et de la biodiversité urbaine (voir chapitre 2).

» L'arbre urbain s'acclimate à son environnement

La ville peut être vue comme un environnement particulièrement contraignant pour les arbres, ou au contraire comme un environnement très favorable. Tout dépend des besoins physiologiques que l'on considère (figure 1.2).

En plus de la quantité d'espace au-dessus et dans le sol, la qualité de cet espace est importante pour le développement de l'arbre urbain. L'environnement urbain diffère de l'environnement naturel de l'arbre par des facteurs qui peuvent être aussi bien nuisibles que bénéfiques. Premièrement, par la présence importante de surfaces imperméables et de sols compactés. Ces facteurs limitent l'infiltration de l'eau dans les sols et augmentent le ruissellement de surface, réduisant l'eau accessible aux racines de l'arbre